

## ALTERNATIF PERKUATAN LERENG PADA RUAS JALAN TRENGGALEK-PONOROGO KM 23 +650

Dedy Dharmawansyah  
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Informatika, Universitas Teknologi Sumbawa  
Email: dedy.wansyah@gmail.com

### ABSTRAK

Pada pertengahan tahun 2010, ruas jalan Trenggalek-Ponorogo KM 23 +650 terjadi kelongsoran sepanjang  $\pm 50$  m dengan ketinggian 7 m dan mengikis hampir separuh dari badan jalan. Akibat dari kejadian tersebut arus lalu lintas disepanjang jalan tersebut terhambat. Beberapa bulan setelah kejadian, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Propinsi Jawa timur melakukan perbaikan mulai dari dasar lereng sampai ketinggian 3,5 m dengan menggunakan konstruksi *retaining wall* dan *gabion* (Perkuatan eksisting) sedangkan pada separuh bagian lereng lainnya yang berada diatas perkuatan eksisting sampai badan jalan belum diperbaiki sampai saat ini. Selama masa pemakaian, konstruksi *retaining wall* yang terpasang sudah tidak berfungsi secara optimal; ini dibuktikan dengan terjadinya keretakan pada konstruksi tersebut yang dikuatirkan akan menyebabkan lereng longsor kembali.

Dari analisa stabilitas pada lereng asli diperoleh SF sebesar 1,0888, sedangkan dengan perkuatan eksisting diperoleh SF sebesar 1,13; ini menunjukkan bahwa lereng masih dalam kondisi kritis sehingga diperlukan sistem perkuatan. Untuk itu, direncanakan perkuatan yang terdiri dari dua bagian yaitu perkuatan tambahan pada lereng yang sudah diperbaiki (perkuatan eksisting) dan perkuatan pada lereng yang belum diperbaiki. Alternatif perkuatan yang akan digunakan terdiri dari *mini pile*, *sheetpile*, *geotextile wall* dan *gabion*.

Hasil yang diperoleh dari perencanaan pada penelitian ini yaitu diperlukan tambahan perkuatan dengan menggunakan *mini pile* ukuran 20x20 cm yang dipasang mulai elevasi -3,5 m dari permukaan jalan sampai 1,5 m dibawah bidang gelincir (panjang total 6.0 meter), dengan jarak 0,5 m. Untuk tambahan perkuatan pada eksisting retaining wall yang sudah retak digunakan *sheetpile* yang ditanam sampai kedalaman 8 m. Perkuatan pada bagian lereng atas yang belum diperbaiki digunakan *gabion* dengan ukuran panjang 180 cm, lebar 90 cm dan tinggi 45 cm. *Gabion* tersebut dipasang mulai dari elevasi -3,5 m sampai permukaan jalan.

**Kata Kunci:** *Trenggalek-Ponorogo, Kelongsoran, Lereng, Gabion, Geotextile wall, Sheetpile, Minipile*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang Masalah

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal. Pada tempat dimana

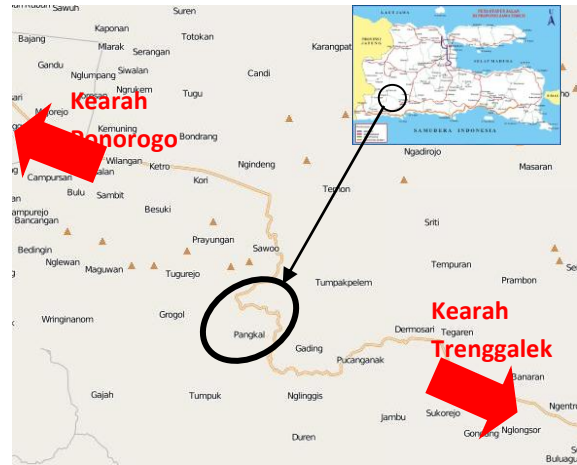
terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya

potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

Kondisi curah hujan yang tinggi menjadi salah satu penyebab kelongsoran karena terjadinya peningkatan derajat kejenuhan tanah dapat mengakibatkan meningkatnya tegangan air pori tanah sehingga tegangan efektif tanah berkurang dan kuat geser tanah juga berkurang. Disamping itu kondisi tanah dasar yang lunak serta kemiringan lereng yang cukup curam juga dapat menjadi penyebab lain terjadinya kelongsoran.

Kabupaten Trenggalek dan Ponorogo sampai saat ini masih dihubungkan oleh satu jalur utama dan belum ada jalur alternatif lain yang menghubungkan kedua wilayah, sehingga jalur ini menjadi urat nadi transportasi dari Trenggalek ke Ponorogo dan sebaliknya. Jalur ini secara topografis merupakan daerah perbukitan dengan karakteristik lereng yang terjal. Pada pertengahan tahun 2010 terjadi kelongsoran lereng sepanjang  $\pm 50$  m dan mengikis hampir separuh dari badan jalan. Lokasi kelongsoran terjadi di Desa Pakal Kec. Sawoo Kabupaten Ponorogo, tepatnya di KM 23 +650 (Gambar 1).

Akibat dari peristiwa ini jalur transportasi kedua wilayah terhambat; hal ini dibuktikan dengan macetnya arus lalu lintas disepanjang jalur ini karena kendaraan harus bergantian pada saat melewati lokasi kelongsoran. Disamping itu peristiwa ini juga berdampak pada terhambatnya distribusi kebutuhan masyarakat baik dari Trenggalek ke Ponorogo dan sebaliknya.



Gambar 1. Lokasi tanah longsor di Desa Pakal Kec. Sawoo Kabupaten Ponorogo KM 23 +650 (Sumber: [www.openstreetmap.com](http://www.openstreetmap.com))

Untuk menanggulangi kelongsoran yang telah terjadi dan mencegah terjadinya kelongsoran susulan pada lereng tersebut, diperlukan suatu konstruksi yang mempunyai fungsi untuk menahan kelongsoran. Dalam hal ini akan dianalisis stabilitas lereng pada badan jalan dan perlu direncanakan perkuatan dinding penahan tanah yang akan digunakan untuk meningkatkan kestabilan lereng. Untuk itu, penelitian ini mencoba memberikan alternatif perkuatan lereng yang bisa dijadikan sebagai solusi untuk menanggulangi kelongsoran lereng yang terjadi di ruas jalan Trenggalek Ponorogo KM 23 +650 agar tidak terjadi kelongsoran susulan walaupun terkena hujan deras. Jenis perkuatan lereng yang akan dijadikan alternatif dalam penelitian ini adalah *geotextile wall*, *gabion* dan *sheetpile*.

### Perumusan masalah

Dari uraian diatas dapat disimpulkan masalah utama yang harus diselesaikan dalam penelitian ini adalah menentukan jenis perkuatan lereng yang tepat pada ruas jalan Trenggalek – Ponorogo KM 23 +650 agar tidak mengalami longsor susulan sehingga arus lalu lintas pada jalan tersebut tidak terganggu.

Adapun rincian masalah yang harus diselesaikan adalah:

1. Bagaimana stabilitas lereng pada lokasi studi?
2. Apabila menggunakan *minipile* sebagai perkuatan pada elevasi -3,5 m dari permukaan jalan, maka berapa jumlah *minipile* yang dibutuhkan sehingga dapat menaikkan tahanan geser pada lereng yang longsor?
3. Apabila *sheetpile* digunakan sebagai konstruksi tambahan untuk memperkuat lereng didepan perkuatan eksisting (*retaining wall*), maka berapa ukuran dan kedalaman *sheetpile* yang harus dipancang agar tidak diperlukan angker?
4. Berapa jarak vertikal dan panjang *geotextile* pada sistem *geotextile wall* harus dipasang pada lereng yang belum diperbaiki agar tidak terjadi kelongsoran lagi?
5. Berapa ukuran *gabion* harus dipasang pada lereng yang belum diperbaiki agar kuat menahan lereng tersebut?
6. Bagaimana kelebihan dan kekurangan masing-masing tipe perkuatan lereng tersebut?

### Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan alternatif perkuatan lereng pada ruas jalan Trenggalek Ponorogo KM 23 adalah untuk memperoleh sistem perkuatan lereng yang tepat dan efisien agar tidak terjadi kelongsoran susulan di ruas jalan Trenggalek – Ponorogo KM 23 +650.

### Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi studi adalah ruas jalan Trenggalek Ponorogo KM 23 +650 sepanjang  $\pm 50$  m.
2. Perencanaan didasarkan pada Data Sekunder.
3. Alternatif perkuatan lereng yang dianalisis terdiri dari empat macam yaitu *gabion*, *geotextile wall*, *sheetpile* dan *minipile*.
4. Tidak dilakukan Analisa Biaya.

### Manfaat Perencanaan

Manfaat yang dapat diperoleh apabila perkuatan lereng yang direncanakan ini benar-benar diimplementasikan adalah tidak akan terjadi lagi kelongsoran susulan pada ruas jalan Trenggalek – Ponorogo KM 23 +650 sehingga arus lalu lintas berjalan lancar.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Lereng dan Pengelompokannya

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi (Das, 1985). Lereng yang ada dapat dikelompokkan kedalam lereng dengan tinggi terbatas (*finite slope*) dan lereng dengan tinggi tidak terbatas (*infinite slope*).

Lereng dengan tinggi terbatas adalah apabila harga  $H_{cr}$  mendekati tinggi lereng (Das, 1985). Analisis terhadap lereng dengan tinggi terbatas yang berada pada tanah yang homogen, dilakukan dengan asumsi bidang longsor terjadi pada permukaan bidang yang lengkung.

Sedangkan lereng dengan tinggi tak terbatas/lereng menerus diasumsikan bahwa permukaan kelongsoran potensial adalah sejajar dengan permukaan lereng dengan kedalaman yang dangkal bila dibandingkan dengan panjang lereng. Lereng tersebut dianggap memiliki panjang tak terhingga dengan mengabaikan pengaruh ujungnya (Craig, 1987).

#### Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng merupakan suatu analisis guna memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian maupun lereng timbunan. Faktor yang perlu dilakukan pemeriksaan adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling kritis dengan kekuatan geser tanah yang bersangkutan, hasil perbandingan dari kedua parameter tersebut dinamakan angka keamanan. Umumnya angka keamanan didefinisikan sebagai (Das, 1985):

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Keterangan:

$F_s$  = angka keamanan

$\tau_f$  = kekuatan tanah untuk menahan  
kelongsoran

$\tau_d$  = gaya dorong yang bekerja sepanjang  
bidang longsor

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan sudut geser tanah, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Keterangan :

$c$  = kohesi

$\phi$  = sudut geser tanah

$\sigma$  = tegangan normal rata-rata pada  
permukaan bidang longsor

Dengan cara yang sama, dapat juga dituliskan :

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d$$

Keterangan:

$c_d$  = kohesi

$\phi_d$  = sudut geser yang bekerja sepanjang  
bidang longsor

### Analisa Stabilitas Lereng dengan *Software* XSTABL

XSTABL adalah program komputer yang ditulis dalam bahasa FORTRAN IV, untuk penyelesaian umum kasus stabilitas lereng metode keseimbangan dua dimensi. Perhitungan faktor keamanan lereng dilakukan dengan

metode irisan (disadur dari *Modified Bishop Method*) dengan bidang longsor berbentuk silinder lingkaran. Keistimewaan XSTABL adalah sepuluh bidang longsor terkritik ditentukan dari minimum seratus bidang longsor secara acak.

### Analisa Stabilitas Lereng dengan *Software* PLAXIS

PLAXIS adalah program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Program ini terdiri dari empat buah sub program yaitu Masukan, Perhitungan, Keluaran dan Kurva.

### Perencanaan *Geotextile Wall*

Kontrol stabilitas lereng yang diperkuat dengan bahan *geotextile* terdiri dari *internal stability* dan *eksternal stability*.

#### 1. *Internal Stability*

Gaya-gaya yang perlu diperhatikan adalah:

- Tanah yang berada dibelakang lereng
- Beban luar yang terdiri dari beban tambahan (*surchage*) dan beban hidup

Besarnya tegangan horisontal yang diterima dinding ( $\sigma_H$ ) adalah:

$$\sigma_H = \sigma_{HS} + \sigma_{Hq} + \sigma_{HL}$$

Keterangan:

$\sigma_H$  = teg. horisontal yang diterima dinding

$\sigma_{HS}$  = teg. horisontal akibat tanah dibelakang  
dinding

$\sigma_{Hq}$  = teg. horisontal akibat tanah timbunan

$\sigma_{HL}$  = teg. horisontal akibat beban hidup

Jarak vertikal pemasangan *geotextile* ( $S_V$ ) adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{HZ} S_V = \frac{T_{ALL}}{SF}$$

$$S_V = \frac{T_{ALL}}{\sigma_{HZ} S}$$

Keterangan:

$\sigma_{HZ}$  = teg. horisontal pada kedalaman z

$T_{ALL}$  = kekuatan *geotextile* yang tersedia

$SF$  = faktor keamanan yang direncanakan

Panjang *geotextile* yang ditanam ( $L$ ) dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$L = L_e + L_R$$

Dimana:

$$L_R = (H - Z) \times \left[ tg \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

$$S_V \sigma_H FS = 2\tau L_e$$

dengan  $\tau = c + \sigma_v tg \delta$

Sehingga:

$$L_e = \frac{S_V \cdot \sigma_H \cdot SF}{2[c + \sigma_v (tg \delta)]}$$

Keterangan:

$L_e$  = panjang *geotextile* yang berada dalam  
*anchorage zone* (min 3 ft atau 1 m)

$L_R$  = panjang *geotextile* yang berada didepan  
bidang longsor

$\tau$  = kekuatan geser tanah terhadap  
*geotextile*

$c$  = kohesi tanah ( $c=0$  apabila tanah pasir)

$\delta$  = sudut geser antara tanah dan *geotextile*

$\sigma_H$  = tegangan horisontal

$\sigma_v$  = tegangan vertikal ( $\sigma_v = \gamma \cdot Z$ )

$SF$  = faktor keamanan ( 1,3 s.d. 1,5)

Panjang lipatan ( $L_o$ ) dimana gaya yang diperhitungkan  $\frac{1}{2} \sigma_H$

$$L_o = \frac{S_V \cdot \sigma_H \cdot SF}{4[c + \sigma_v (tg \delta)]}$$

Keterangan:

$c$  = kohesi tanah (tanah pasir  $c = 0$ )

$\delta$  = sudut geser antara tanah dan *geotextile*

$\sigma_H$  = tegangan horisontal

$\sigma_v$  = tegangan vertikal ( $\sigma_v = \gamma \cdot Z$ )

$SF$  = faktor keamanan ( 1,3 s.d. 1,5)

## 2. Eksternal Stability

Perencanaan kekuatan lereng menggunakan *geotextile* juga harus diperhatikan kontrol terhadap *eksternal stability* diantaranya adalah:

1. Stabilitas terhadap guling
2. Stabilitas terhadap geser
3. Stabilitas terhadap daya dukung

## Perencanaan Gabion

Gaya utama yang bekerja pada dinding *gabion* adalah gaya vertikal dari berat *gabion* dan tekanan tanah lateral yang bekerja dibelakang dinding. Apabila ada beban kendaraan atau beban gempa maka beban-beban tersebut harus dimasukkan juga dalam analisis. Tekanan tanah aktif  $P_a$ , menurut Coulomb adalah (Das, 1985) :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a W_s H^2$$

Apabila terdapat beban merata dipermukaan urugan, maka persamaan diatas dimodifikasi menjadi:

$$P_a = K_a \left( \frac{W_s H^2}{2} + qH \right)$$

Keterangan :

$W_s$  = berat tanah

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$H$  = tinggi dinding *gabion*

$q$  = beban terbagi merata

$K_a$  adalah koefisien tekanan tanah aktif, dimana menurut Coulomb harganya adalah (*Modular Gabion Systems*):

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

Keterangan:

$\alpha$  = sudut kemiringan pada permukaan urugan dibelakang dinding *gabion*

$\beta$  = sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*

$\delta$  = sudut geser antara tanah dan dinding *gabion*

$\phi$  = sudut geser tanah

Nilai  $P_a$  cenderung membentuk sudut  $\delta$  terhadap bidang yang tegak lurus pada bagian belakang dinding *gabion*. Namun karena pengaruh gesekan dinding kecil, maka  $\delta$  dianggap nol. Komponen horisontal dari  $P_a$  dapat ditulis seperti persamaan dibawah :

$$P_h = P_a \cos \beta$$

Komponen vertikal,  $P_a$  biasanya diabaikan dalam desain karena mengurangi momen guling dan meningkatkan ketahanan geser.

### Perhitungan Kedalaman *Sheetpile*

Gambar 2 merupakan diagram distribusi tekanan tanah pada *sheetpile*. Tahapan perhitungan *sheetpile* sebagai berikut:

#### 1. Perhitungan Koefisien tekanan tanah

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

#### 2. Perhitungan tekanan tanah

$$\sigma_1 = q K_a$$

$$\sigma_2 = \gamma h_1 K_a \text{ dan}$$

$$\sigma_2 = \gamma d K_p$$

#### 3. Perhitungan $P_a$ dan $P_p$

$$P_{a1} = q K_a h$$

$$P_{a2} = \frac{1}{2} K_a h^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p d^2$$

#### 4. Perhitungan kedalaman *sheetpile*

Untuk mendapatkan kedalaman *sheetpile* yang ditanam (d) harus diperhitungkan



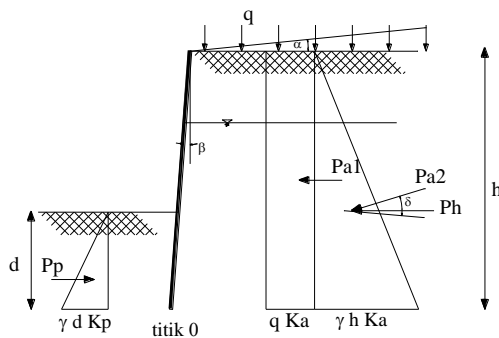
momen terhadap titik 0 yang disebabkan oleh  $P_a$  maupun  $P_p$ .

$$\sum M = 0$$

$$[Mo_{1(Pa1)} + Mo_{2(Pa2)}] - Mo_{3(Pp)} = 0$$

$$\left[ Pa_1 \left( \frac{1}{2} h \right) + Pa_2 \left( \frac{1}{3} h \right) \right] - Pp \left( \frac{1}{3} d \right) = 0$$

Dari persamaan di atas akan diperoleh nilai  $d$  yang merupakan kedalaman *sheetpile*.



Gambar 2. Diagram Distribusi Tekanan Tanah pada *Sheetpile*

## METODOLOGI

### Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan membaca dan mengambil intisari dari buku-buku serta referensi yang berhubungan dengan perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Referensi mengenai perhitungan Stabilitas Lereng.
2. Referensi tentang pengoperasian software XSTABL dan PLAXIS.
3. Referensi mengenai perhitungan dan perencanaan sistem *gabion*, sistem *geotextile wall*, sistem *sheetpile* dan *minipile* untuk sistem perkuatan Lereng.
4. Ringkasan yang menunjang beserta rumus-rumus yang mendukung.

### Data

Data yang digunakan untuk perencanaan ini adalah data sekunder, dengan rincian sebagai berikut:

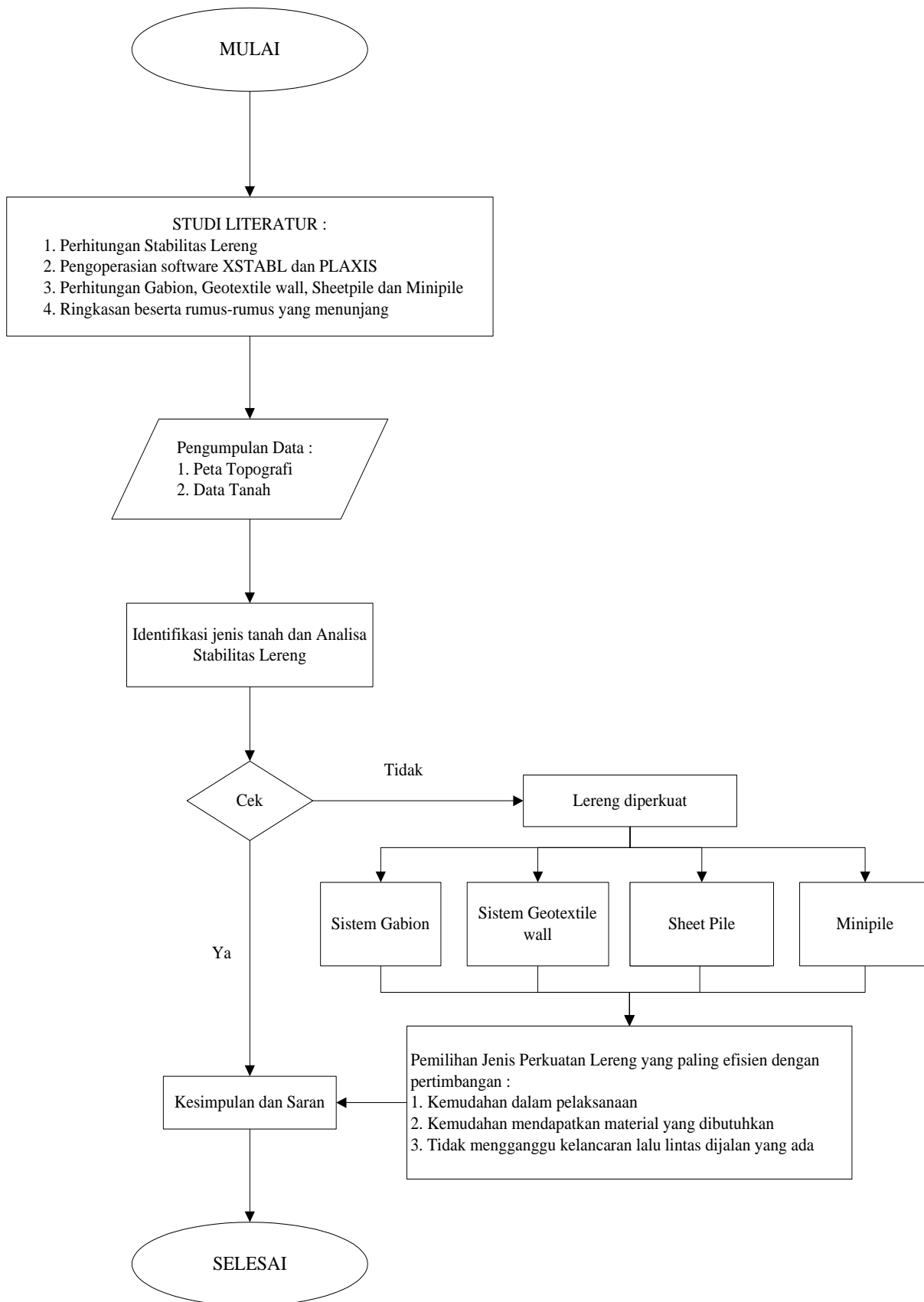
1. Peta Topografi daerah perbatasan Trenggalek dan Ponorogo.
2. Data tanah bencana alam tanah longsor di jalan jurusan Trenggalek – Ponorogo yang meliputi  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ,  $w_c$ , LL, PL, PI,  $C_u$ ,  $\phi$ .

3. Data Tanah dari bencana alam tanah longsor di Madiun yang meliputi  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ,  $w_c$ , LL, PL, PI,  $C_u$ ,  $\phi$ .

Secara ringkas, metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

### Analisa data dan perhitungan

1. Pengelompokkan data tanah  
Data tanah yang diperoleh dari pengujian Laboratorium diolah kembali dengan melakukan :
  - Dari data hasil pengujian SPT, tanah dikelompokkan sesuai dengan tingkat kekerasannya.
  - Penggambaran profil tanah setelah diketahui jenis tanah pada masing-masing kedalaman.
  - Selang kepercayaan data *Bore Log*  
Parameter-parameter tanah hasil *Bore Log* ( $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ,  $w_c$ , LL, PL, PI,  $C_u$ ,  $\phi$ ) terlebih dahulu dicari selang kepercayaan dengan probabilitas 90 %, hal ini dilakukan agar diperoleh hasil yang akurat.





Gambar 3. Alur penelitian

Parameter tanah tersebut masing-masing diplot kedalam grafik berdasarkan kedalaman, kemudian data tersebut disortir, apabila ada data yang terlalu keluar dari kelompok maka data tersebut di buang.

Selang kepercayaan diselesaikan dengan persamaan dibawah ini (Ang dan Tang 1975):

$$\langle \mu \rangle_{1-\alpha} = \left( \bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} k_{\alpha/2} ; \bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} k_{\alpha/2} \right)$$

Dimana :

- $\bar{X}$  = rata-rata data
- $k_{\alpha/2}$  = nilai probabilitas
- $\alpha$  = 1- probabilitas
- $\sigma$  = standar deviasi
- $n$  = jumlah data

Data tanah diatas lapisan tanah hasil pengujian SPT lapangan diperoleh dari korelasi empiris menurut Das (1985) dan Bowles (1984).

Perhitungan stabilitas lereng dengan menggunakan software XSTABL, PLAXIS dan Manual dengan memasukkan parameter-parameter tanah yang telah diolah pada langkah No. 1.

2. Perencanaan perkuatan lereng dengan alternatif sebagai berikut:
  - Sistem *geotextile wall*
    - Menghitung jarak vertikal *geotextile*
    - Menghitung panjang *geotextile* yang dibutuhkan
  - Sistem *gabion*
    - Menentukan ukuran *gabion* yang digunakan
  - Sistem *sheetpile*
    - Merencanakan ukuran dan kedalaman *sheetpile*
  - Sistem *minipile*
    - Merencanakan jumlah *minipile* yang dibutuhkan

### Penentuan dan pemilihan metode perkuatan lereng

Penentuan dan pemilihan Metode perkuatan lereng yang tepat dengan alternatif sebagai berikut:

1. Sistem *geotextile wall*
2. Sistem *gabion*
3. Sistem *sheetpile*
4. Sistem *minipile*

Dari keempat alternatif diatas dilakukan pemilihan alternatif yang tepat dengan pertimbangan:

1. Kemudahan dalam pelaksanaan
2. Kemudahan mendapatkan material yang dibutuhkan
3. Tidak mengganggu kelancaran lalu lintas di jalan yang ada.

## DATA & ANALISA DATA

### Data tanah

Dengan bantuan analisa statistik, data tanah yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dilakukan evaluasi dengan selang kepercayaan 90 %. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut (Tabel 1 dan Gambar 4):

Tabel 1. Data Selang Kepercayaan 90%

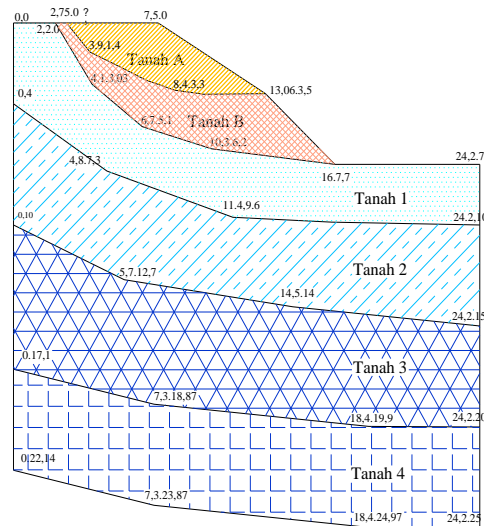
No. Lapisan tanah	Kedalaman (m)	wc (%)	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Gs	e	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Tanah 1	0-4	50,28	15,76	2,65	0,76	17,7	18,39
Tanah 2	4-10	40,86	15,68	2,66	0,61	20,9	28,41
Tanah 3	10-15	29,04	15,04	2,65	0,45	6,00	30,71
Tanah 4	15-20	43,04	13,35	2,68	0,63	36,9	33,60

Ket:  $\pm 0,00$  dihitung mulai dari elevasi -7,00 dari muka jalan.

Sedangkan data tanah A dan B yang berada diatas lapisan tanah hasil pengujian SPT di lapangan diperoleh dari hasil korelasi empiris menurut Das (1985) dan Bowles (1984). Hasil korelasi empiris dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Data Tanah untuk Tanah A dan Tanah B

No. Lapisan tanah	Kedalaman (m)	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	E	v	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Tanah A	0 - 3,5	18	38000	0,2	6	28
Tanah B	3,5 - 7	18	34000	0,2	3	30

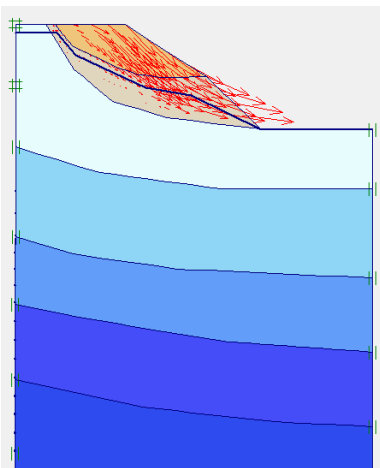


Gambar 4. Stratigrafi perencanaan

## PERENCANAAN ALTERNATIF PEKUATAN LERENG

### a. Analisis Angka Keamanan Lereng Asli

Gambar 5 merupakan *total displacement* bidang longsor pada lereng dalam kondisi asli. Dari hasil analisa dengan Plaxis diperoleh  $SF=1,0888$

Gambar 5. Arah kelongsoran hasil Plaxis dari kondisi asli,  $SF = 1,0888$ 

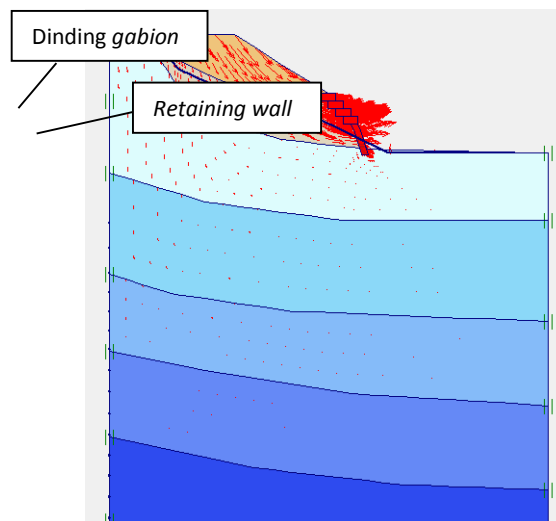
### b. Analisis Angka Keamanan dengan Perkuatan yang Ada

Pada tahun 2010, pada lereng dilakukan perkuatan oleh pihak Dinas Bina Marga Propinsi Jawa Timur dengan menggunakan *retaining wall* dan dinding *gabion* mulai elevasi -3,5 m sampai elevasi -

7 m (Gambar 6). *Retaining wall* dipasang pada dasar dengan ketinggian  $\pm 1,5$  m sedangkan dinding *gabion* dipasang diatas *retaining wall* dengan ketinggian  $\pm 1,5$ . Dari hasil analisa dengan program *plaxis* diperoleh  $FS=1,13$  (Gambar 7).



Gambar 6. Perkuatan eksisting (Gabion dan Retaining Wall)

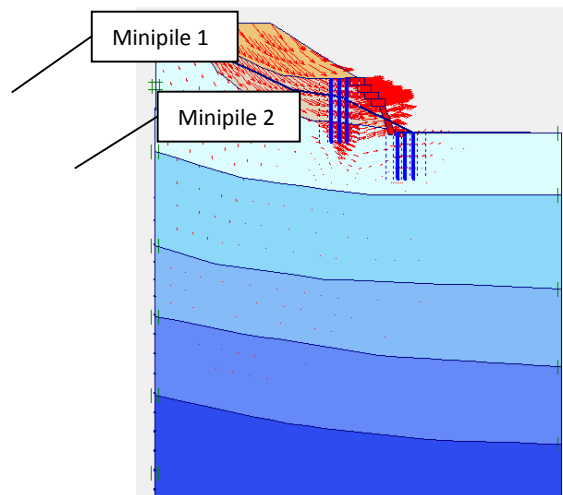


Gambar 7. Arah kelongsoran hasil Plaxis dengan perkuatan yang ada,  $SF = 1,13$

Analisis diatas menunjukkan bahwa perkuatan *gabion* dan *retaining wall* yang telah terpasang masih dalam kondisi kritis sehingga perlu dilakukan perkuatan tambahan pada bagian tersebut agar diperoleh stabilitas lereng yang aman.

#### c. Analisis Angka Keamanan dengan Konstruksi Minipile (Alternatif 1)

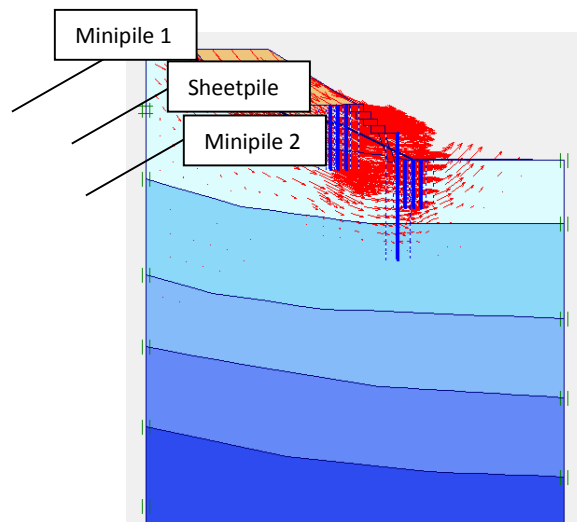
Alternatif 1 sebagai perkuatan pada Tanah B adalah menggunakan konstruksi minipile 20x20 cm. Untuk mini pile 1 dipasang pada elevasi -3,5 m dari permukaan jalan sedangkan untuk mini pile 2 dipasang pada elevasi -7,00 m dari permukaan jalan. Dari hasil analisa Plaxis didapatkan  $SF = 1,3784$ . Berikut *total displacement* lereng dengan menggunakan *minipile* (Gambar 8).



Gambar 8. Arah kelongsoran alternatif 1;  
 $SF = 1,3784$

**d. Analisis Angka Keamanan dengan Konstruksi Mini Pile dan Sheetpile (Alternatif 2)**

Alternatif 2 sebagai perkuatan pada Tanah B adalah menggunakan konstruksi *minipile* 20x20 cm yang dikombinasikan dengan Sheetpile. Untuk *minipile* tetap dipasang seperti pada alternatif 1 dan ditambah *sheetpile* yang dipasang pada elevasi -7,00 m dari permukaan jalan. Dari hasil analisa Plaxis didapatkan  $SF = 1,6927$ . Berikut *total displacement* lereng dengan menggunakan *minipile* dan *sheetpile* (Gambar 9).

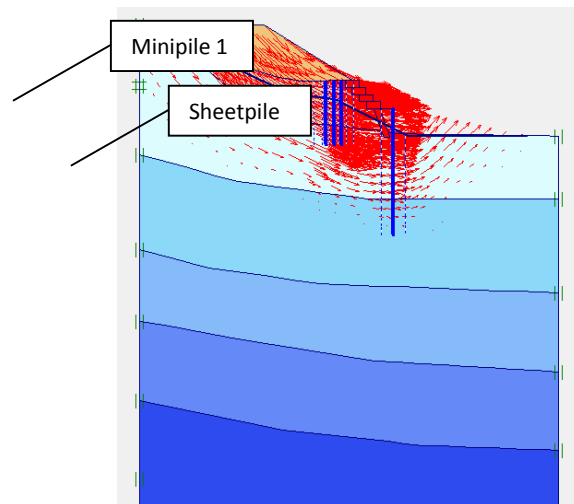


Gambar 9. Arah kelongsoran alternatif 2;  
 $SF = 1,6927$

**e. Analisis Angka Keamanan dengan Konstruksi Mini Pile dan Sheetpile (Alternatif 3)**

Alternatif 3 sebagai perkuatan pada Tanah B adalah menggunakan konstruksi *minipile* 20x20 cm yang dipasang pada elevasi -3,5 m dari permukaan jalan dan *sheetpile* yang dipasang pada elevasi -

7,00 m dari permukaan jalan. Dari hasil analisa *plaxis* didapatkan  $SF = 1,6565$ . Berikut *total displacement* lereng dengan menggunakan *minipile* dan *sheetpile* (Gambar 10).

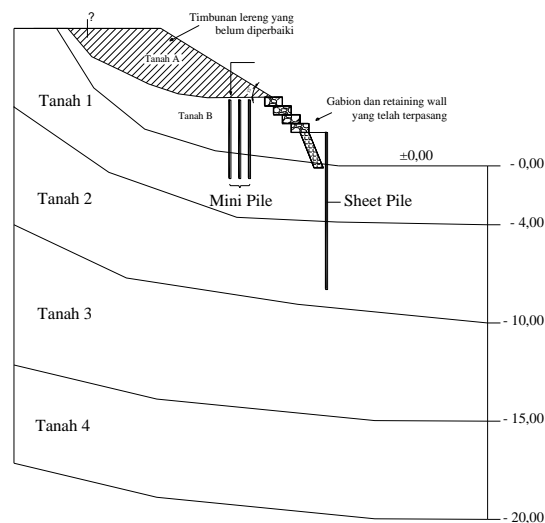


Gambar 10. Arah kelongsoran alternatif 3;  $SF=1,6565$

Dari ketiga alternatif diatas dengan mempertimbangkan efisiensi, efektivitas bahan konstruksi yang digunakan dan selisih nilai faktor keamanan yang kecil, maka konstruksi yang dipilih sebagai perkuatan lereng pada bagian bawah yaitu Alternatif 3 (Konstruksi *minipile* dan *sheetpile*).

#### f. Perkuatan lereng dengan Minipile (Perhitungan Manual)

*Minipile* digunakan untuk meningkatkan tegangan geser tanah. Konstruksi ini dipasang mulai kedalaman 3,5 m dari permukaan jalan sampai dibawah bidang gelincir. *Minipile* yang digunakan adalah dimensi 20 x 20 cm. penelitian ini akan dicari jumlah dan jarak *minipile* yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan lereng. Adapun sketsa perencanaan perkuatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



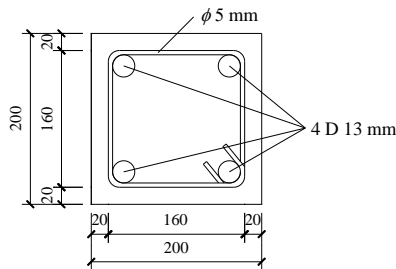
Gambar 11. Perencanaan Minipile dan Sheetpile

Tanah dasar merupakan tanah lempung dengan parameter tanah  $\phi = 18,395^\circ$ ,  $c = 0,177 \text{ kg/cm}^2$ . Adapun langkah-langkah perhitungan perkuatan lereng dengan minipile (Gambar 12) adalah sebagai berikut :

#### 1. Perhitungan E komposit

Nilai Modulus Elastisitas yang digunakan pada *minipile* adalah modulus elastisitas komposit antara beton dan baja. Dari spesifikasi produk *minipile* diketahui mutu beton adalah K450 sehingga  $f'_c = 450 \text{ kg/cm}^2 \times 0,83 = 373,5 \text{ kg/cm}^2 = 37,35 \text{ MPa}$ .

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f'_c} \\ &= 4700\sqrt{37,35} = 28723,884 \text{ MPa} \\ &= 287238,84 \text{ kg/cm}^2 \\ E_s &= 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 12. Penampang Minipile

Digunakan *minipile* 20 x 20 cm (Gambar 11) sehingga:

- $A_c = b \times h = 20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2$

Sedangkan tulangan yang digunakan adalah 4D13 dan sengkang yang digunakan adalah  $\emptyset 5 \text{ mm}$ . Sehingga luasan masing-masing tulangan tersebut adalah sebagai berikut :

- $A_t = 4 \left( \frac{1}{4} \pi D^2 \right)$   
 $= 4 \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 5,309 \text{ cm}^2$
- $A_s = 16 \times 4 \left( \frac{1}{4} \pi D^2 \right)$   
 $= 16 \times 4 \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 5^2 \right) = 12,566 \text{ cm}^2$

Jadi E (modulus elastisitas) komposit adalah:

$$\begin{aligned} E_{\text{komposit}} &= \frac{(A_c \times E_c) + (A_t \times E_s) + (A_s \times E_s)}{A_c + A_t + A_s} \\ E_{\text{komposit}} &= \frac{(400 \times 287238,84) + (5,309 \times 2.10^6) + (12,566 \times 2.10^6)}{400 + 5,309 + 12,566} \\ &= 282243,956 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

$E_c$  = modulus elastisitas beton ( $\text{kg/cm}^2$ )

$E_s$  = modulus elastisitas baja ( $\text{kg/cm}^2$ )



- $A_c$  = luasan beton ( $m^2$ )  
 $A_t$  = luasan tulangan ( $m^2$ )  
 $A_s$  = luasan sengkang ( $m^2$ )

2. Perhitungan faktor kekakuan relatif (T)

Dalam menghitung Faktor Kekakuan Relatif (T) digunakan persamaan berikut, adapun perhitungannya adalah:

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 20 \times 20^3 = 13333,33 \text{ cm}^4$$

$$c_u = \frac{3}{2} c = \frac{3}{2} \times 0,177 = 0,266 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_u = 2 \times c_u = 2 \times 0,266 = 0,531 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_u = 0,36 \times 0,977 = 0,544 \text{ tsf}$$

Dari gambar 2.27 didapatkan nilai  $f=5,3 \text{ tsf}=0,170 \text{ kg/cm}^3$ , maka didapatkan nilai T sebesar:

$$T = \left( \frac{282243,956 \times 1333,33}{0,170} \right)^{\frac{1}{5}} = 117,28 \text{ cm}$$

3. Perhitungan gaya horisontal yang mampu ditahan 1 buah *minipile*.

Dengan menggunakan persamaan berikut didapat hasil perhitungan gaya horisontal adalah:

$$P_{max} = \frac{Mp}{F_M \times T}$$

$$Mp_{max} \text{ 1 minipile} = Mp = w \times \sigma_{lt}, \text{ dimana:}$$

$$w = \frac{I}{c} \text{ dengan } c = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 20 = 10 \text{ cm}$$

$$w = \frac{I}{c} = \frac{1333,33}{10} = 133,333 \text{ cm}^3$$

$$Mp_{max} \text{ 1 minipile} = 133,333 \times 168,08$$

$$= 224106,67 \text{ kgcm}$$

Direncanakan L (dibawah bidang gelincir) = 150 cm

$$L/T = \frac{150}{140,63} = 1,28$$

Dengan nilai  $F_M = 1,00$ , maka:

$$P_{max} \text{ 1 minipile} = \frac{Mp}{F_M \times T}$$

$$= \frac{224106,67}{1 \times 117,95} = 1910,85 \text{ kg}$$

4. Perhitungan kebutuhan *minipile* (n)

Pada perhitungan kebutuhan *minipile* dibutuhkan data  $SF_{min}$ , momen penahan (MR) dan R, ketiga data tersebut dapat diperoleh dengan bantuan program XSTABL. Dari hasil XSTABL didapatkan:

$$\begin{aligned} SF_{min} &= 1,123 \\ MR &= 3639 \text{ kNm/m}' = 363,9 \text{ tm/m}' \\ R &= 12,42 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan berikut dapat diperoleh kebutuhan *minipile* adalah:

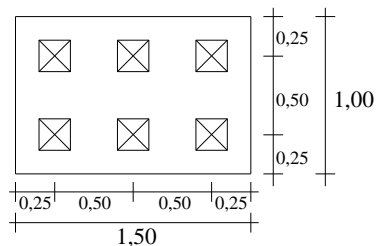
$$n = \frac{(SF \text{ rencana} - SF \text{ yang ada}) \times MD}{P_{max} 1 \text{ minipile} \times R}$$

$$MD = \frac{MR}{SF} = \frac{363,9}{1,123} = 324,04 \text{ tm}$$

$$n = \frac{(1,5 - 1,123) \times 324,04}{1910,85 \times 12,42} = 5,15 \approx 6 \text{ buah}$$

Jarak antar *minipile* direncanakan sebesar 0,5m.

#### 5. Pola Pemasangan *minipile* pada Gambar 13.



Gambar 13. Pola Pemasangan *Minipile*

#### g. Perencanaan Perkuatan lereng dengan Sheetpile (Perhitungan Manual)

Penggunaan *Sheetpile* pada penelitian ini adalah untuk memperkuat konstruksi *retaining wall* yang sudah dipasang sebelumnya. Sketsa perencanaan kedalaman *sheetpile* dapat dilihat pada Gambar 14.

*Sheetpile* akan dipasang tegak dengan sudut kemiringan dibelakang dinding ( $\beta$ ) = 0 dan diletakkan didepan *retaining wall*. Terdapat beban tambahan dengan sudut kemiringan  $\alpha = 45^\circ$  yang berada pada permukaan dibelakang *sheetpile*. Pada perencanaan ini akan dihitung kedalaman *sheetpile* yang mampu menahan beban dibelakang *sheetpile*. Adapun perencanaan *sheetpile* tersebut adalah sebagai berikut :

#### 1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dapat diperoleh dengan menggunakan rumus Coulomb yaitu:

Tanah B

$$\gamma_t = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 3 \text{ kN/m}^2$$

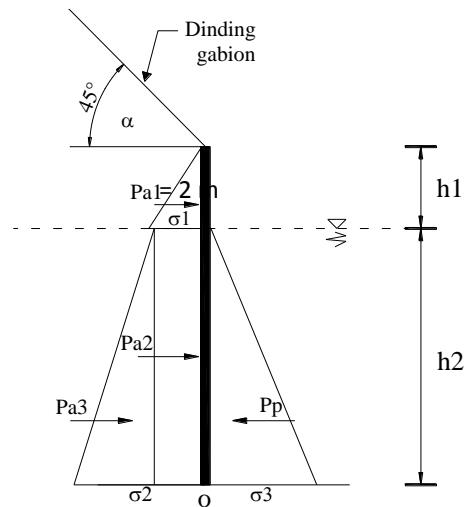
$$\varphi = 30^\circ$$

Lapisan Tanah 1

$$\gamma_{\text{sat}} = 19,39 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 17,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 18,39^\circ$$



Gambar 14. Sketsa perencanaan Sheetpile

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

Sehingga diperoleh:

$$K_{a1} = \frac{\cos^2(30 - 0)}{\cos^2 0 \cos(20 + 0) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20) \cdot \sin(30 - 45)}{\cos(20 + 0) \cdot \cos(45 - 0)}} \right]^2} = 0,577$$

Dengan cara yang sama diperoleh harga:

$$K_{a2} = \frac{\cos^2(18,39 - 0)}{\cos^2 0 \cos(12,26 + 0) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(18,39 + 12,26) \cdot \sin(18,39 - 0)}{\cos(12,26 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}} \right]^2} = 0,466$$

Sedangkan harga  $K_p$  adalah sebagai berikut :

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left( 45 + \frac{20,07}{2} \right) = 1,922$$

## 2. Perhitungan tegangan tanah

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \gamma_t \times h_1 \times K_{a1} \\ &= 18 \times 2 \times 0,577 = 20,78 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= (\gamma t \times h_1 + \gamma' h_2) K a_2 \\ &= [18 \times 2 + (19,39 - 10) h_2] 0,466 \\ &= 16,79 + 4,38 h_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= \gamma' h_2 K p \\ &= (19,39 - 10) h_2 \times 1,992 = 18,05 h_2\end{aligned}$$

### 3. Perhitungan tekanan tanah

Tekanan tanah yang dihitung terdiri dari tekanan tanah aktif ( $P_a$ ) dan tekanan tanah pasif ( $P_p$ ). Adapun perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_{a1} &= \frac{1}{2} \times \gamma t \times h_1^2 \times K a_1 \\ &= \frac{1}{2} \times 18 \times 2^2 \times 0,577 = 20,78 \text{ kN/m} \\ P_{a2} &= (\gamma t \times h_1 \times K a_2) h_2 \\ &= (18 \times 2^2 \times 0,466) h_2 = 16,79 h_2 \\ P_{a3} &= \frac{1}{2} \times \gamma' \times h_2^2 \times K a_2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18 \times h_2^2 \times 0,466 = 2,19 h_2^2 \\ P_p &= \frac{1}{2} \times \gamma' \times h_2^2 \times K p \\ &= \frac{1}{2} \times (19,39 - 10) \times h_2^2 \times 1,922 \\ &= 9,02 h_2^2\end{aligned}$$

### 4. Perhitungan kedalaman *Sheetpile* yang ditanam

Perencanaan kedalaman *sheetpile* yaitu dengan menghitung momen yang terjadi pada titik 0 yang disebabkan oleh tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Adapun perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ [(M o1_{(Pa1)}) + (M o2_{(Pa2)}) + (M o3_{(Pa3)})] - (M o4_{(Pp)}) &= 0 \\ \left[ P_{a1} \left( h_2 + \frac{1}{3} h_1 \right) + P_{a2} \left( \frac{1}{2} h_2 \right) + P_{a3} \left( \frac{1}{3} h_2 \right) \right] - P_p \left( \frac{1}{3} h_2 \right) &= 0 \\ \left[ 20,78 \left( h_2 + \frac{1}{3} 2 \right) + 16,79 h_2 \left( \frac{1}{2} h_2 \right) + 2,19 h_2^2 \left( \frac{1}{3} h_2 \right) \right] - 9,02 h_2^2 \left( \frac{1}{3} h_2 \right) &= 0 \\ [(20,78 h_2 + 10,39) + 8,395 h_2^2 + 0,73 h_2^3] - 3,01 h_2^3 &= 0 \\ -2,28 h_2^3 + 8,395 h_2^2 + 20,78 h_2 + 10,39 &= 0 \\ 2,28 h_2^2 - 8,395 h_2 - 20,78 - \frac{10,39}{h_2} &= 0\end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara coba-coba maka kedalaman  $h_2$  dapat dicari, adapun perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

Dicoba  $h_2 = 5 \text{ m}$

$$\begin{aligned}2,28 h_2^2 - 8,395 h_2 - 20,78 - \frac{10,39}{h_2} &= 0 \\ (2,28 \times 5^2) - (8,395 \times 5) - 20,78 - \frac{10,39}{5} &= 0 \\ -7,83 &\neq 0\end{aligned}$$

Dicoba  $h_2 = 5,49$  m

$$2,28h_2^2 - 8,395h_2 - 20,78 - \frac{10,39}{h_2} = 0$$

$$(2,28 \times 5,49^2) - (8,395 \times 5,49) - 20,78 - \frac{10,39}{5,49} = 0$$

$$0 = 0$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh kedalaman *sheetpile* yang ditanam ( $h_2$ ) adalah 5,49 m  $\approx$  6 m.

Untuk desain kedalaman pelaksanaan panjang *sheet pile* perlu ditambah faktor keamanan 20% - 30 %. Pada perencanaan ini ditambahkan faktor keamanan sebesar 20% dari kedalaman rencana.

$$\text{Panjang total } sheetpile = h_1 + (D \times 1,2)$$

$$= 2 + (6 \times 1,2) = 9,2 \text{ m}$$

Digunakan *sheetpile* dengan panjang 10 m dan kedalaman penanaman adalah 8 m.

Direncanakan menggunakan produk WIKABETON Type W325-A-1000B.

#### h. Perencanaan Perkuatan Lereng dengan Geotextile Wall (Perhitungan Manual)

Alternatif I adalah sistem *geotextile wall*. Konstruksi ini akan dipasang pada lereng yang saat ini masih belum diperbaiki yaitu pada elevasi -3,5 dari permukaan jalan yaitu pada Tanah A.

##### 1. Menghitung Kekuatan *Geotextile* ( $T_{allow}$ )

Kekuatan *geotextile* dihitung berdasarkan kuat tarik ultimate ( $T_{ult}$ ) dan dipengaruhi oleh nilai Faktor Reduksi, antara lain:

$$\begin{aligned} \text{Faktor reduksi akibat instalasi (RF}_{id}) &= 1,3 \\ \text{Faktor reduksi rangkai (RF}_{cr}) &= 2,5 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi akibat pengaruh kimia (RF}_{cd}) = 1,25$$

$$\text{Faktor reduksi akibat pengaruh biologi (RF}_{bd}) = 1,20$$

$$T_{allow} = T_{ult} \frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD}}$$

Dalam perencanaan ini digunakan tipe *geotextile* UW 250 dengan kekuatan tarik sebesar 52 kN/m', maka kekuatan ijin tarik *geotextile* diperoleh sebesar:

$$T_{allow} = 52 \frac{1}{1,3 \times 2,5 \times 1,25 \times 1,2}$$

$$= 10,667 \text{ kN/m'}$$

##### 2. Perhitungan koefisien tekanan tanah

Data Tanah A:

$$\begin{aligned}
 \gamma_t &= 18 \text{ kN/m}^3 \\
 \phi &= 28^\circ \\
 c &= 6 \text{ kN/m}^2 \\
 \delta &= 2/3 \phi = 18,67^\circ \\
 \beta &= 0^\circ \\
 \text{FS rencana} &= 1,3
 \end{aligned}$$

Dengan rumus Coulomb, maka harga  $K_a$  adalah:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{\cos^2(28 - 0)}{\cos^2 0 \cos(18,67 + 0) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(28 + 18,67) \cdot \sin(28 - 0)}{\cos(18,67 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}} \right]^2} \\
 &= 0,321
 \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan tekanan tanah

- akibat berat tanah sendiri

$$\begin{aligned}
 \sigma_H &= \gamma_t \times z_i \times K_a \\
 \sigma_H &= 18 \times z_i \times 0,321 = 5,78 z_i \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- akibat beban tambahan (*surcharge*)

$$\begin{aligned}
 \sigma_{sur} &= K_a \times q \\
 \sigma_{sur} &= 0,321 \times 20 = 6,43 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Sehingga tekanan tanah total adalah :

$$\sigma_{H \text{ tot}} = \sigma_H + \sigma_{sur} = 5,78 z_i + 6,43$$

### 4. Perhitungan Jarak antar *geotextile* ( $S_v$ ) dan banyaknya lapisan *geotextile*

$$S_v = \frac{T_{ALL}}{\sigma_{Htot} SF}$$

Pada  $z = 3,5 \text{ m}$  diperoleh:

$$S_{v1} = \frac{10,667}{[5,78 (3,5) + 6,43] 1,3} = 0,308 \text{ m}$$

Pada  $z = 2 \text{ m}$  diperoleh:

$$S_{v2} = \frac{10,667}{[5,78 (2) + 6,43] 1,3} = 0,456 \text{ m}$$

Dari perhitungan  $S_v$  diatas maka ditetapkan  $S_v$  rencana sebagai berikut:

$S_{v1} = 0,25 \text{ m}$  dengan  $n = 6$  lapis dan ketinggian  $h_1 = 1,5 \text{ m}$

$S_{v2} = 0,5 \text{ m}$  dengan  $n = 4$  lapis dan ketinggian  $h_2 = 2 \text{ m}$

5. Perhitungan panjang *geotextile* dibelakang bidang ( $L_e$ )

$$L_e = \frac{S_v \cdot \sigma_H \cdot SF}{2[c + \sigma_v(tg\delta)]}$$

Perhitungan  $L_e$  dilakukan perlapis

Contoh perhitungan:

Misalnya pada  $z = 1$  m dan  $S_v = 0,5$  m dengan  $FS = 1,3$  maka diperoleh:

$$L_e = \frac{0,5[5,78(1)+6,43] \cdot 1,3}{2[10+(18 \times 0,5)(tg18,67)]} = 0,247$$

dipakai  $L_e = 1m$

6. Perhitungan panjang *geotextile* didepan bidang longsor ( $L_r$ )

Panjang *geotextile* didepan bidang longsor dihitung dengan bantuan hasil analisis XSTABL dengan cara:

$L_r = (\text{Koordinat } x \text{ bidang longsor lapisan } i \text{ geotextile terpasang}) - (\text{koordinat tepi timbunan lapisan } i \text{ geotextile terpasang})$

Panjang *geotextile* didepan bidang longsor adalah sebagai berikut (Tabel 3):

Tabel 3. Koordinat Nilai  $L_r$

Jumlah	Koordinat Y	Koordinat pakai		Koordinat x tepi	Lr (m)
		x	y		
1	23,25	20,92	23,25	17,90	3,022

7. Perhitungan panjang lipatan *geotextile*

$$L_o = \frac{S_v \cdot \sigma_H \cdot SF}{4[c + \sigma_v(tg\delta)]}$$

Contoh perhitungan:

Misalnya pada  $z = 1$  m dan  $S_v = 0,5$  m dengan  $FS = 1,3$  maka diperoleh:

$$L_o = \frac{0,5[5,78(1) + 6,43] \cdot 1,3}{4[10 + (18 \times 0,5)(tg18,67)]} = 0,12 \text{ dipakai } 0,2 \text{ m}$$

8. Panjang total *geotextile* ( $L_{tot}$ )

Panjang total *geotextile* yang digunakan perlapisan adalah:

$$L_{tot} = 0,5 + 3,02 + 1 + 0,2 = 4,722 \text{ m}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

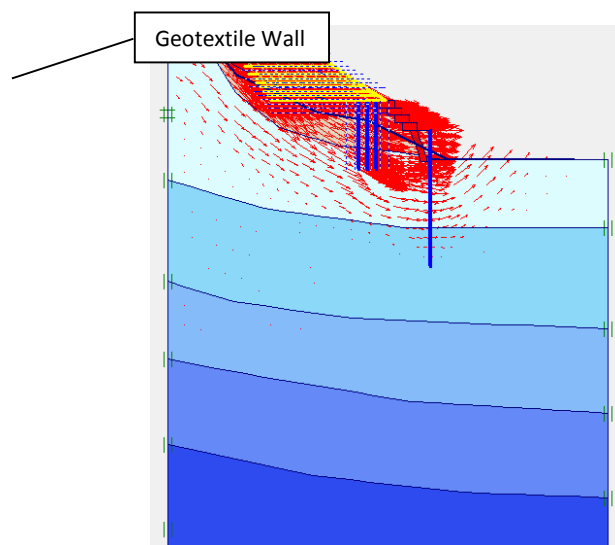
Tabel 4. Rekapitulasi Kebutuhan Geotextile Wall



No Lap dari atas	z (m)	Sv	Le	Le (min)	L <sub>R</sub>	L <sub>O</sub>	L	L <sub>total</sub>	L <sub>pakai</sub>
1	0,5	0,5	0,232	1,00	2,483	0,2	3,483	4,183	5,00
2	1	0,5	0,247	1,00	3,022	0,2	4,022	4,722	5,00
3	1,5	0,5	0,257	1,00	3,540	0,2	4,540	5,24	6,0
4	2	0,5	0,264	1,00	4,010	0,2	5,010	5,71	6,0
5	2,25	0,25	0,133	1,00	4,466	0,2	5,466	6,166	6,50
6	2,5	0,25	0,135	1,00	4,668	0,2	5,668	6,368	6,50
7	2,75	0,25	0,136	1,00	4,869	0,2	5,869	6,569	7,0
8	3	0,25	0,137	1,00	5,063	0,2	6,063	6,763	7,0
9	3,25	0,25	0,138	1,00	5,226	0,2	6,226	6,926	7,0
10	3,5	0,25	0,139	1,00	5,390	0,2	6,390	7,01	7,0

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan menggunakan program *Plaxis* diperoleh angka keamanan  $SF = 1,6474$  (Gambar 15).

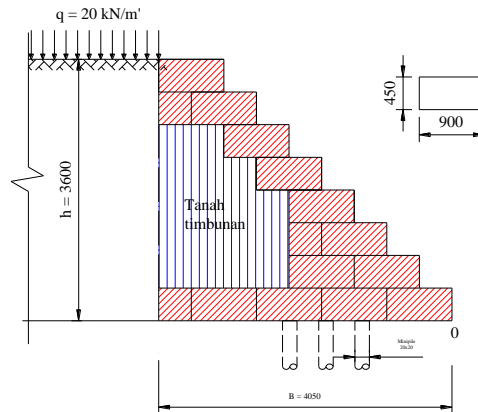


Gambar 15. Arah Kelongsoran hasil *Plaxis* dari lereng yang diperkuat dengan *Geotextile Wall*.  $SF=1,6474$

#### i. Perencanaan Perkuatan Lereng dengan *Gabion*

Alternatif perkuatan lereng selanjutnya adalah *gabion*. Seperti yang sudah dijelaskan pada perencanaan *geotextile wall*, konstruksi inipun akan dipasang pada lereng yang saat ini masih belum ditangani yaitu pada elevasi -3,5 dari permukaan jalan yaitu pada Tanah A.

Pada perencanaan ini digunakan *gabion* dengan ukuran 45 x 90 cm dan panjang 180 cm. Adapun perhitungan *gabion* adalah sebagai berikut (Gambar 16):



Gambar 16. Perencanaan Gabion

### 1. Perhitungan koefisien tekanan tanah

Data timbunan :

$$\gamma_t = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 28^\circ$$

$$c = 6 \text{ kN/m}^2$$

$$\delta = 2/3 \phi = 18,67^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

Dengan rumus Coulomb pada persamaan berikut, maka harga  $K_a$  adalah:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

Sehingga :

$$K_a = \frac{\cos^2(28 - 0)}{\cos^2 0 \cos(18,67 + 0) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(28 + 18,67) \cdot \sin(28 - 0)}{\cos(18,67 + 0) \cdot \cos(0 - 0)}} \right]^2} = 0,321$$

Harga tekanan tanah aktif seperti persamaan berikut adalah:

$$P_a = \left( \frac{\gamma H^2}{2} + qH \right) K_a = \left( \frac{18 \times 3,6^2}{2} + 20 \times 3,6 \right) 0,321 = 60,608 \text{ kN/m}$$

Tekanan tanah aktif pada arah horisontal adalah:

$$P_h = P_a \cos \beta = 60,608 \times \cos 0 = 60,608 \text{ kN/m}$$

### 2. Perhitungan jarak vertikal $P_h$

Jarak verikal dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_a = \frac{\left[ \left( \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \right) \left( \frac{1}{3} h \right) + (q h K_a) \left( \frac{1}{2} h \right) \right]}{P_{a_{tot}}}$$

$$= \frac{\left[ \left( \frac{1}{2} \times 18 \times 3,6^2 \times 0,321 \right) \left( \frac{1}{3} \times 3,6 \right) + (20 \times 3,6 \times 0,321) \left( \frac{1}{2} \times 3,6 \right) \right]}{60,608}$$

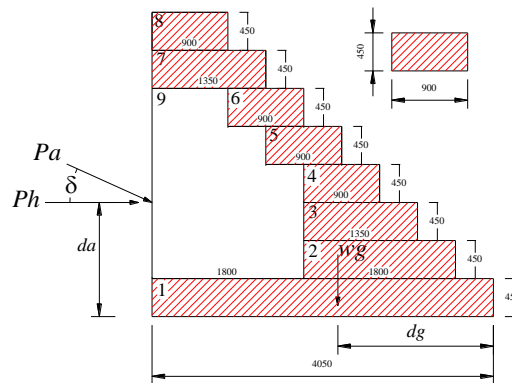
= 1,429 m dari dasar *gabion*

### 3. Perhitungan Momen di titik 0

$$M_o = da \times Ph = 1,429 \times 60,608 = 86,61 \text{ kNm}$$

### 4. Perhitungan berat *gabion* (wg), (Gambar 17).

$$\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$$



Gambar 17. Ukuran Gabion

Luasan *Gabion* :

$$\begin{aligned} A_1 &= 4,05 \times 0,45 &= 1,823 \text{ m}^2 \\ A_2 &= 1,8 \times 0,45 &= 0,810 \text{ m}^2 \\ A_3 &= 1,35 \times 0,45 &= 0,608 \text{ m}^2 \\ A_4 &= 0,9 \times 0,45 &= 0,405 \text{ m}^2 \\ A_5 &= 0,9 \times 0,45 &= 0,405 \text{ m}^2 \\ A_6 &= 0,9 \times 0,45 &= 0,405 \text{ m}^2 \\ A_7 &= 1,35 \times 0,45 &= 0,405 \text{ m}^2 \\ A_8 &= 0,9 \times 0,45 &= 0,405 \text{ m}^2 \\ A_{tot} & &= 5,468 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$Wg = A_{tot} \times \gamma_t = 5,468 \times 19 = 103,883 \text{ kN/m'}$$

Luasan tanah yang ikut terbebani :

$$\begin{aligned} A_9 &= (1,8 \times 1,35) + (1,35 \times 0,45) + (0,9 \times 0,45) \\ &= 3,443 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } Ws = A_{tot} \times \gamma_t = 3,443 \times 18 = 61,965 \text{ kN/m'}$$

Sehingga berat total adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{tot} &= Wg + Ws = 103,883 + 61,965 \\ &= 165,848 \text{ kN/m'} \end{aligned}$$

### 5. Perhitungan jarak horisontal

Jarak horisontal Wg terhadap titik 0 dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$dg = \frac{\sum Ax}{\sum A}$$

Dimana  $\sum A$  adalah luasan total *gabion* dan tanah sedangkan  $x$  adalah jarak ke titik 0. Sehingga diperoleh perhitungan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} A.x_1 &= 1,823 \times 2,025 = 1,823 \text{ m}^2 \\ A.x_2 &= 0,81 \times 1,35 = 1,094 \text{ m}^2 \\ A.x_3 &= 0,608 \times 1,575 = 0,957 \text{ m}^2 \\ A.x_4 &= 0,405 \times 1,8 = 0,727 \text{ m}^2 \\ A.x_5 &= 0,405 \times 2,25 = 0,911 \text{ m}^2 \\ A.x_6 &= 0,405 \times 2,7 = 1,094 \text{ m}^2 \\ A.x_7 &= 0,608 \times 3,375 = 2,050 \text{ m}^2 \\ A.x_8 &= 0,405 \times 3,6 = 1,458 \text{ m}^2 + \\ \Sigma A.x &= 23,146 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$dg = \frac{\sum A.x}{\sum A} = \frac{23,146}{(5,468 + 3,443)} = 2,598 \text{ m}$$

#### 6. Perhitungan Momen penahan

$$Mr = dg \times Wg = 2,598 \times 165,848 = 430,827 \text{ kNm}$$

#### 7. Perhitungan Faktor keamanan

- Faktor keamanan terhadap guling

$$SF_o = \frac{Mr}{Mo} = \frac{430,827 \text{ kNm}}{86,61 \text{ kNm}} = 4,97$$

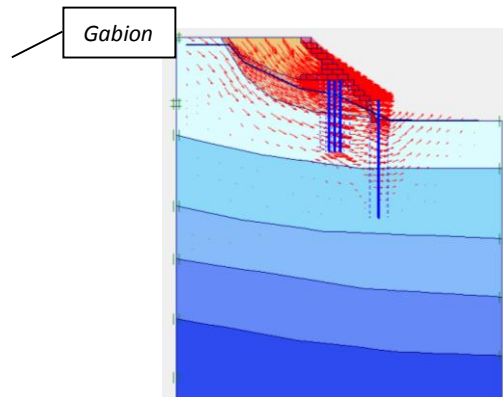
$> 2 \dots OK$

- Faktor keamanan terhadap geser

$$\begin{aligned} SF_s &= \frac{\mu Wg}{Ph} = \frac{\tan \phi \times Wg}{Ph} \\ &= \frac{\tan 30^\circ \times 165,848}{60,608} = 1,58 \end{aligned}$$

$> 1,5 \dots OK$

Dengan menggunakan program Plaxis diperoleh angka keamanan  $SF = 1,6071$  (Gambar 18)



Gambar 18. Arah kelongsoran hasil Plaxis dari lereng yang diperkuat dengan *Gabion*  $SF=1,6071$

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Perencanaan alternatif perkuatan lereng pada ruas jalan Trenggalek-Ponorogo KM 23 +650 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis 8.2* diperoleh data faktor keamanan lereng yaitu pada kondisi asli diperoleh  $SF = 1,0888$ , sedangkan pada kondisi dengan perkuatan eksisting (*gabion dan retaining wall*) diperoleh  $SF = 1,13$ .
2. Jumlah *minipile* yang didapatkan agar dapat menaikkan tahanan geser pada lereng yang longsor sebanyak 6 buah dengan jarak antar minipile adalah 0,5 m. *mini pile* ini dipasang pada elevasi -3,5 dari permukaan jalan.
3. Sedangkan *sheetpile* yang digunakan sebagai perkuatan tambahan pada perkuatan eksisting (*retaining wall*) menggunakan tipe W-325-A-1000, berat 0,329 t/m dengan kedalaman penanaman adalah 8 m.
4. Jarak vertikal *geotextile* yaitu 0,25 m yang dipasang mulai dari elevasi -3,5 m sampai elevasi -2,0 m setinggi 1,5 m dan jarak vertikal 0,5 m dipasang mulai dari elevasi -2,00 m sampai  $\pm 0,00$  m.
5. *Gabion* yang digunakan pada perencanaan ini adalah *gabion* tipe 8x10/ZN dengan panjang 180 cm, lebar 90 cm, tinggi 45 cm yang dibagi dalam dua kotak.
6. Perkuatan tambahan pada tanah B dipilih menggunakan Alternatif 3 yaitu kombinasi antara *minipile* (pada elevasi -3,5 m) dan *sheetpile* (pada elevasi -7 m) dengan  $SF=1,6565$ . Alternatif ini dipilih karena *sheetpile* dianggap sudah cukup mampu menahan beban yang diakibatkan oleh tanah, *gabion* serta *retaining wall* tanpa harus ditambahkan *minipile* didepan *sheetpile* seperti pada alternatif 2. Sedangkan untuk perkuatan pada lereng yang belum diperbaiki (Tanah A) dipilih menggunakan perkuatan *gabion*. Dari analisa *Plaxis* diperoleh angka keamanan sebesar 1,6071. Konstruksi ini dipilih karena material mudah didapatkan dilokasi sehingga instalasi konstruksi ini dilapangan dapat dilakukan dengan swadaya masyarakat setempat dan pertimbangan lainnya yaitu tidak mengganggu kelancaran arus lalu lintas.

#### Saran

1. Pengujian tanah dilapangan seharusnya dilakukan juga pada lereng yang tidak longsor sehingga bisa didapatkan data tanah dalam kondisi asli.
2. Dalam menganalisa stabilitas lereng pada lokasi ini diperlukan program bantu selain *XSTABL* yaitu program *PLAXIS*.
3. Dalam merencanakan panjang (L) *minipile* yaitu 1,5 – 2 m dibawah bidang gelincir.
4. Dalam merencanakan perkuatan pada lereng ini harus ditinjau secara menyeluruh disepanjang lereng (arah memanjang). Karena dimungkinkan keretakan *retaining wall* diakibatkan oleh pengaruh lereng yang berada disampingnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ang, Alfredo H-S dan W.H. Tang. 1975. *Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa, Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Binsar Hariandja. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Brochure Stabl <[URL:http://www.stabl.com](http://www.stabl.com)>
- Craig, R.F. 1987. *Mekanika Tanah, Edisi Keempat*. Diterjemahkan oleh Budi Susilo Soepandji. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Das, Braja. M. 1985. *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik, Jilid 2*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Penerbit Erlangga.

- Kuswanda, Wahyu P. 2007, "Penggunaan Bahan Geosintetik untuk Rehabilitasi Longsoran Tanah Pasca Bencana Alam". *Proseding Seminar Nasional Teknik Sipil III Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*. Surabaya, 20 Februari 2007.
- Koerner, Robert M. 1997. *Designing with Geosynthetics*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Mochtar, Indrasurya B. 1990, "Geosintetik Masa Kini", *Proseding Seminar Geosintetik Masa Kini Himpunan Mahasiswa Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*, 19 Mei 1990.
- Modular Gabion Systems (MGS), *Gabion wall Design*, [URL:http:// www.gabions.net](http://www.gabions.net)
- Manual plaxis versi 8.2 <URL:http://www. plaxis.nl>
- Zakaria, Zufialdi. 2009. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Modul Kuliah Geologi Teknik, UNPAD. Bandung